

Helsinki 30.3.2004

REC'D 05 APR 2004

WIPO

PCT

E T U O I K E U S T O D I S T U S  
P R I O R I T Y D O C U M E N T



Hakija  
Applicant

ABB Oy  
Helsinki

Patentihakemus nro  
Patent application no

20030386

Tekemispäivä  
Filing date

14.03.2003

Kansainvälinen luokka  
International class

H02J

Keksinnön nimitys  
Title of invention

"Menetelmä sähköverkon avaruusvektorisuureen vastakomponentin  
ominaisuksien määrittämiseksi"

Täten todistetaan, että oheiset asiakirjat ovat tarkkoja jäljennöksiä  
Patentti- ja rekisterihallitukselle alkuaan annetuista selityksestä,  
patenttivaatimuksista, tiivistelmästä ja piirustuksista.

This is to certify that the annexed documents are true copies of the  
description, claims, abstract and drawings originally filed with the  
Finnish Patent Office.

LAST AVAILABLE COPY

*Markkula Tehikoski*

Markkula Tehikoski  
Apulaistarkastaja

Maksu 50 €  
Fee 50 EUR

Maksu perustuu kauppa- ja teollisuusministeriön antamaan asetukseen 1027/2001  
Patentti- ja rekisterihallituksen maksullisista suoritteista muutoksineen.

The fee is based on the Decree with amendments of the Ministry of Trade and Industry No.  
1027/2001 concerning the chargeable services of the National Board of Patents and  
Registration of Finland.

## **Menetelmä sähköverkon avaruusvektorisuureen vastakomponentin ominaisuuksien määrittämiseksi**

### **Keksinnön tausta**

Keksintö liittyy sähköverkon avaruusvektorisuureen vastakomponentin ominaisuuksien määrittämiseen.

Epäsymmetristä kolmivaiheverkkoa voidaan kuvata kolmella symmetrisellä kolmivaihekomponeentilla, eli nollajärjestelmällä (Zero Sequence System, ZSS), myötäjärjestelmällä (Positive Sequence System, PSS) ja vastajärjestelmällä (Negative Sequence System, NSS).

Vastajärjestelmä määritellään sähköverkon suureiden vastakomponenttien avulla. Suureiden vastakomponentteja voidaan hyödyntää sähköverkon valvonnassa ja säätämisessä.

### **Keksinnön lyhyt selostus**

Keksinnön tavoitteena on kehittää menetelmä sähköverkon avaruusvektorisuureen vastakomponentin ominaisuuksien määrittämiseksi. Tämä tavoite saavutetaan menetelmällä, jolle on tunnusomaista se, mitä sanotaan itsenäisessä patenttivaatimukseissa. Keksinnön edulliset suoritusmuodot ovat epäitsenäisten patenttivaatimusten kohteena.

Keksinnön mukaista menetelmää sähköverkon avaruusvektorisuureen vastakomponentin ominaisuuksien määrittämiseksi voidaan hyödyntää esimerkiksi sähköverkon jännite-epäsymmetrian kompensointimenetelmien yhteydessä.

Keksintö perustuu siihen, että sähköverkon avaruusvektorisuureen vastakomponentin ominaisuudet määritetään sähköverkon avaruusvektorisuureen avaruusvektorin muodostaman ellipsin ominaisuuksien perusteella.

### **Kuvioiden lyhyt selostus**

Keksintää selostetaan nyt lähemmin edullisten suoritusmuotojen yhteydessä, viitaten oheisiin piirroksiin, joista:

Kuvio 1 esittää myötä- ja vastajärjestelmän avaruusvektoreiden kärkien piirtämiä ympyräuria ja summavektorin kärjen piirtämää ellipsiuraa;

Kuvio 2 esittää lohkokaaviota sähköverkon jännitteen avaruusvektorin muodostaman ellipsin puoliakselien komponenttien määrittämiseksi; ja

Kuvio 3 esittää lohkokaaviota sähköverkon jännitteen vastakomponentin suuruuden ja jännite-ellipsin pikkupuoliakselin kulman määrittämiseksi.

### Keksinnön yksityiskohtainen selostus

5 Sähköverkon avaruusvektorisuure, jonka vastakomponentin ominaisuudet keksinnön mukaisella menetelmällä voidaan määrittää, voi olla esimerkiksi jännite tai virta. Alla käsitellään esimerkki, jossa määritetään vastakomponentin ominaisuudet sähköverkon jännitteelle.

10 Mikäli sähköverkossa ei esiinny nollakomponenttia, on kokonaisjännite vastakomponentin ja myötäkomponentin summa, jolloin verkon jännitevektorin  $\underline{u}_2$  ura on ellipsi kuvion 1 mukaisesti, ja kyseinen jännitevektori voidaan määritellä yhtälöllä

$$\underline{u}_2 = u_{2,PSS} e^{j\omega t} + u_{2,NSS} e^{-j(\alpha t - \phi)},$$

15 missä  $u_{2,PSS}$  on sähköverkon jännitteen myötäkomponentin suuruus,  $u_{2,NSS}$  on sähköverkon jännitteen vastakomponentin suuruus,  $\omega$  on kulmataajuus,  $t$  on aika, ja  $\Phi$  on myötä- ja vastajärjestelmän välinen vaihekulmaero alkuperäellä. Ellipsin isopuoliakselilla myötä- ja vastajärjestelmävektoreiden kulmat ovat 20 samat, joten isopuoliakselin kulmaksi saadaan

$$\alpha_{maj} = \phi / 2 + n\pi.$$

Ellipsin isopuoliakselin pituus  $l_{maj}$  on jännitteen myötävektorin pituuden  $u_{2,PSS}$  ja vastavektorin pituuden  $u_{2,NSS}$  summa. Ellipsin pikkupuoliakseli on kohtisuorassa isopuoliakselia vastaan, joten sen kulmaksi saadaan

$$\alpha_{min} = \phi / 2 - \pi / 2 + n\pi$$

30 Pikkupuoliakselin pituus  $l_{min}$  saadaan jännitteen myötävektorin pituuden  $u_{2,PSS}$  ja vastavektorin pituuden  $u_{2,NSS}$  erotuksena. Jännitteen myötävektorin pituus  $u_{2,PSS}$  saadaan jakamalla isopuoliakselin pituuden  $l_{maj}$  ja pikkupuoliakselin pituuden  $l_{min}$  summa kahdella.

$$U_{2,PSS} = \frac{l_{maj} + l_{min}}{2}$$

Vastaavasti jännitteen vastavektorin pituus  $U_{2,NSS}$  saadaan jakamalla isopuoliakselin pituuden  $l_{maj}$  ja pikkupuoliakselin pituuden  $l_{min}$  erotus kahdella.

$$U_{2,NSS} = \frac{l_{maj} - l_{min}}{2}$$

Edellä esitetyn perusteella ellipsin puoliakselien pituuksista voidaan 10 päättää myötä- ja vastajärjestelmäkomponenttien suuruudet. Ellipsin isopuoliakselin kulmasta voidaan päättää myötä- ja vastajärjestelmän välinen vaihekulmaero alkuhetkellä, kuten edellä todettiin. Siten vastaverkon määrittäminen voidaan palauttaa summajännite-ellipsin ominaisuuksien määrittämiseksi.

Kuviossa 2 esitetään lohkokaaviona eräs tapa sähköverkon jänniteen avaruusvektorin muodostaman ellipsin iso- ja pikkupuoliakselien komponenttien  $U_{2\alpha,maj}$ ,  $U_{2\beta,maj}$ ,  $U_{2\alpha,min}$  ja  $U_{2\beta,min}$  määrittämiseksi. Ensin mitatut sähköverkon jännitevektorikomponentit  $u_{2\alpha}$  ja  $u_{2\beta}$  alipäästösuodatetaan siten, että jäljellä on ainoastaan perusaalto. Alipäästösuodatuksen tarkoituksesta on poistaa harmoniset komponentit. Suodattimien tyyppiä ei ole mitenkään rajoitettu, eikä suodattimista aiheutuvat vaihevireet vaikuta menetelmän toimintaan.

Käytännössä jännitevektorikomponenttien  $u_{2\alpha}$  ja  $u_{2\beta}$  yliaaltoja ei tarvitse saada suodatettua aivan kokonaan pois, vaan niiden määränen alentaminen ennalta määritellylle tasolle riittää. Näin ollen on myös mahdollista, että ali-päästösuodataminen ei ole kaikissa tilanteissa edes välttämätöntä.

Kuviossa 2 esitettävässä menettelyssä ellipsin akselit määritetään tunnistamalla perusaaltojännitevektorin pituuden  $|U_{2f}|$  ääriarvokohdat. Ääriarvokohdat määritetään yksinkertaisella derivaattatestillä, joka voidaan esittää alla olevana diskreettinä algoritmina, jossa  $k$  on aikaindeksi ja  $T_s$  on näyteväli.

- 30 1. Laske jännitteen perusaaltovektorin pituus  $|U_{2f}|$ .
2. Approximoi derivaattaa differenssillä  $d_k = (|U_{2f}|_k - |U_{2f}|_{k-1}) / T_s$ .
3. Tarkasta ääriarvoehdot
  - Jos  $d_k < 0$  ja  $d_{k-1} > 0$ , on kyseessä maksimi (isopuoliakseli)
  - Jos  $d_k > 0$  ja  $d_{k-1} < 0$ , on kyseessä minimi (pikkupuoliakseli)

4. Jos maksimi tai minimi löytyi, talleta nykyiset  $u_{2\alpha f,k}$  ja  $u_{2\beta f,k}$  ääriarvon tyypistä riippuen vektorin  $u_{2,maj}$  tai  $u_{2,min}$  komponentteiksi.

Algoritmin kohdassa 3 tapahtuva ääriarvojen luokittelu derivaat-

5 tasignaalien nollakohtien perusteella on analoginen jatkuvien funktioiden toisen derivaatan merkkiin perustuvan ääriarvojen luokittelun kanssa. Käytännön toteutuksessa kohdassa 1 voidaan käyttää perusaaltovektorin neliöllistä pituutta, koska neliöjuuri ei monotonisena funktiona vaikuta ääriarvoihin. Lisäksi kohdassa 2 voidaan erotusosamäärä korvata erotuksella jätämällä jakaminen

10 näytväällä  $T_s$  pois.

Edellä esitettyä algoritmia käytettäessä näytväli  $T_s$  voi olla esimerkiksi 100μs. Algoritmin kohdassa 4 tallennettavien arvojen  $u_{2\alpha f,k}$  ja  $u_{2\beta f,k}$  määrä voidaan haluttaessa puolittaa tallentamalla esimerkiksi ainoastaan vasemmassa puolitasossa sijaitsevat puoliakselikomponentit.

15 Ellipsin puoliakselien komponenttien määrittäminen on vastajärjestelmän mittaamisessa ainoa aikakriittinen vaihe. Muut vaiheet voidaan toteuttaa hitaammilla aikatasoilla, esimerkiksi 1 ms:n aikatasolla. Jännite-ellipsin puoliakselien pituudet  $l_{maj}$  ja  $l_{min}$  lasketaan määritettyjen komponenttien avulla yhtälöillä

20

$$l_{maj} = \sqrt{u_{2\alpha,maj}^2 + u_{2\beta,maj}^2} \quad \text{ja}$$

$$l_{min} = \sqrt{u_{2\alpha,min}^2 + u_{2\beta,min}^2}$$

25

Myötä- ja vastakomponenttien suuruudet  $u_{2,PSS}$  ja  $u_{2,NSS}$  voidaan laskea ellipsin puoliakselien pituuksien  $l_{maj}$  ja  $l_{min}$  avulla edellä esitetyllä kaavalla. Ellipsin pikkupuoliakselin kulma  $\alpha_{min}$  saadaan yhtälöllä

30

$$\alpha_{min} = \arctan \left( \frac{u_{2\beta,min}}{u_{2\alpha,min}} \right).$$

Eräs tapa sähköverkon jännitteen vastavektorin pituuden  $u_{2,NSS}$  ja jännite-ellipsin pikkupuoliakselin kulman  $\alpha_{min}$  määrittämiseksi on esitetty lohko-kaaviona kuviossa 3. Kuvion 3 lohkokaaavion sisään tuloon syötetään kuvion 2

löhkokaavion ulostulon tiedot, eli sähköverkon jännitteen avaruusvektorin muodostaman ellipsin iso- ja pikkupuoliakselien komponentit.

Sähköverkon jännitteen avaruusvektorin muodostamaa ellipsiä on edellä käsitelty olettamalla sen muodoksi täydellinen, matematiikan teoriasta 5 tuttu ellipsi. Käytännön sähköverkon jännitteen avaruusvektorin muodostama ellipsi on aina jonkin verran epämuodostunut, mutta on selvää, ettei tämä mitenkään estä keksinnön mukaisen menetelmän käyttämistä, koska sopivalla algoritmillä pystytään määrittämään puoliakselien sijainti epätäydellisestäkin 10 ellipsistä. Epätäydellisten ellipsien puoliakselien määrittämiseen soveltuivia algoritmeja tunnetaan useita, eikä keksinnön mukainen menetelmä aseta rajoituksia käytettävälle algoritmileille.

Edellä käsitellyssä esimerkissä keksinnön mukaista menetelmää käytettiin sähköverkon jännitteen vastakomponentin ominaisuuksien määrittämiseen. Alan ammattilaiselle on itsestään selvää, että keksinnön mukaista 15 menetelmää voidaan soveltaa myös muiden avaruusvektorisuureiden, kuten esimerkiksi virran, vastakomponentin ominaisuuksien määrittämiseen.

Edellä on käsitelty keksinnön mukaisen menetelmän käyttämistä tapauksessa, jossa sähköverkossa ei esiinny nollakomponenttia. Koska esitetty menetelmä perustuu avaruusvektorisuureen avaruusvektorin mittaamiseen, 20 missä nollakomponentti ei näy millään tavalla, on selvää, että keksinnön mukaista menetelmää voidaan soveltaa myös sellaisten sähköverkkojen avaruusvektorisuureiden vastakomponenttien ominaisuuksien määrittämiseen, joissa nollakomponentti esiintyy.

Alan ammattilaiselle on ilmeistä, että keksinnön perusajatus voidaan 25 toteuttaa monin eri tavoin. Keksintö ja sen suoritusmuodot eivät siten rajoitu ylä kuvattuihin esimerkkeihin vaan ne voivat vaihdella patenttivaatimusten puitteissa.

## Patenttivaatimukset

1. Menetelmä sähköverkon avaruusvektorisuureen vastakomponentin ominaisuuksien määrittämiseksi, t u n n e t t u siitä, että se käsittää vaiheet, joissa määritetään sähköverkon avaruusvektorisuureen avaruusvektorin muodostaman ellipsin ominaisuuksien perusteella sähköverkon avaruusvektorisuureen vastakomponentin suuruus ja sähköverkon avaruusvektorisuureen vastakomponentin sijainti suhteessa myötäkomponenttiin.
2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että vaihe sähköverkon avaruusvektorisuureen vastakomponentin sijainnin määrittämiseksi suhteessa myötäkomponenttiin käsittää sähköverkon avaruusvektorisuureen avaruusvektorin muodostaman ellipsin pikkupuoliakselin kulman ( $\alpha_{min}$ ) määrittämisen.
3. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että se käsittää vaiheet, joissa määritetään:
  - 15 sähköverkon avaruusvektorisuureen avaruusvektorin komponentit, avaruusvektorisuureen avaruusvektorin pituus ja sen derivaatta, mainitun derivaatan nollakohdat, sähköverkon avaruusvektorisuureen avaruusvektorin muodostaman ellipsin iso- ja pikkupuoliakseliden komponentit, sekä
  - 20 avaruusvektorisuureen avaruusvektorin muodostaman ellipsin iso- ja pikkupuoliakseliden pituudet ( $l_{maj}$ ,  $l_{min}$ ).
4. Patenttivaatimuksen 3 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että:
  - 25 avaruusvektorisuureen avaruusvektorin pituudelle määritetään useita arvoja vastaten useita eri ajanhetkiä, jolloin kahden peräkkäisen ajanhetken erotus on näytevälin ( $T_s$ ) suuriin,
  - 30 vaihe avaruusvektorisuureen avaruusvektorin derivaatan määrittämiseksi käsittää avaruusvektorisuureen avaruusvektorin derivaatan approksimoinnin peräkkäisiä ajanhetkiä vastaavien avaruusvektorisuureen avaruusvektorin pituusarvojen ja näytevälin ( $T_s$ ) avulla saatavalla differensillä ( $d_k$ ),
  - vaihe sähköverkon avaruusvektorisuureen avaruusvektorin muodostaman ellipsin iso- ja pikkupuoliakseliden komponenttien määrittämiseksi käsittää vaiheet, joissa peräkkäisiä ajanhetkiä vastaavia, avaruusvektorisuureen avaruusvektorin derivaattaa kuvaavia differenssejä ( $d_{k-1}$ ,  $d_k$ ) verrataan nollaan,
  - 35 jolloin peräkkäisistä differensseistä myöhemmän ( $d_k$ ) ollessa nolla pienempi ja aiemman differenssin ( $d_{k-1}$ ) ollessa nolla suurempi, on kyseessä maksimi,

ja peräkkäisistä differensseistä myöhemmän ( $d_k$ ) ollessa nolla suurempi ja aiemman differenssin ( $d_{k-1}$ ) ollessa nolla pienempi, on kyseessä minimi,

jolloin maksimin löytyessä asetetaan nykyiset sähköverkon avaruusvektorisuureen avaruusvektorin komponentit ellipsin isopuoliakselivektorin komponenteiksi, ja minimin löytyessä asetetaan nykyiset sähköverkon avaruusvektorisuureen avaruusvektorin komponentit ellipsin pikkupuoliakselivektorin komponenteiksi.

5. Patenttivaatimuksen 3 tai 4 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että

10 avaruusvektorisuureen avaruusvektorin muodostaman ellipsinkin puoliakselin pituus ( $l_{maj}$ ,  $l_{min}$ ) määritetään laskemalla yhteen kyseisen puoliakselin toiseen potenssiin korotetut komponentit, ja ottamalla tästä summasta neliöjuuri,

15 avaruusvektorisuureen avaruusvektorin muodostaman ellipsin pikkupuoliakselin kulma ( $\alpha_{min}$ ) määritetään trigonometrisesti kyseisen ellipsin pikkupuoliakselin komponenteista, ja että

sähköverkon avaruusvektorisuureen vastakomponenttivektorin pituus määritetään jakamalla avaruusvektorisuureen avaruusvektorin muodostaman ellipsin iso- ja pikkupuoliakslien pituuksien ( $l_{maj}$  ja  $l_{min}$ ) erotus kahdella.

20 6. Jonkin patenttivaatimuksista 3 - 5 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että se käsitteää lisäksi vaiheen, jossa sähköverkon avaruusvektorisuureen avaruusvektorin komponentteja alipäästösudattamalla aikaansaadaan olennaisesti vain perusaallon sisältävät komponentit, jolloin avaruusvektorisuureen avaruusvektorin muodostaman ellipsin pikkupuoliakselin kulma  $(\alpha_{min})$  ja sähköverkon avaruusvektorisuureen vastakomponentin suuruus määritetään mainittujen, olennaisesti vain perusaallon sisältävien komponenttien muodostaman avaruusvektorisuureen avaruusvektorin perusteella.

25 7. Jonkin edeltävän patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että mainittu sähköverkon avaruusvektorisuure on jännite  $(u_2)$ .

**(57) Tiivistelmä**

Keksinnön kohteena on menetelmä sähköverkon avaruusvektorisuureen vastakomponentin ominaisuuksien määritämiseksi. Keksinnön mukainen menetelmä käsittää vaiheet, joissa määritetään sähköverkon avaruusvektorisuureen avaruusvektorin muodostaman ellipsin ominaisuuksien perusteella sähköverkon avaruusvektorisuureen vastakomponentin suuruus ja sähköverkon avaruusvektorisuureen vastakomponentin sijainti suhteessa myötäkomponenttiin.

(Kuvio 1)

L5

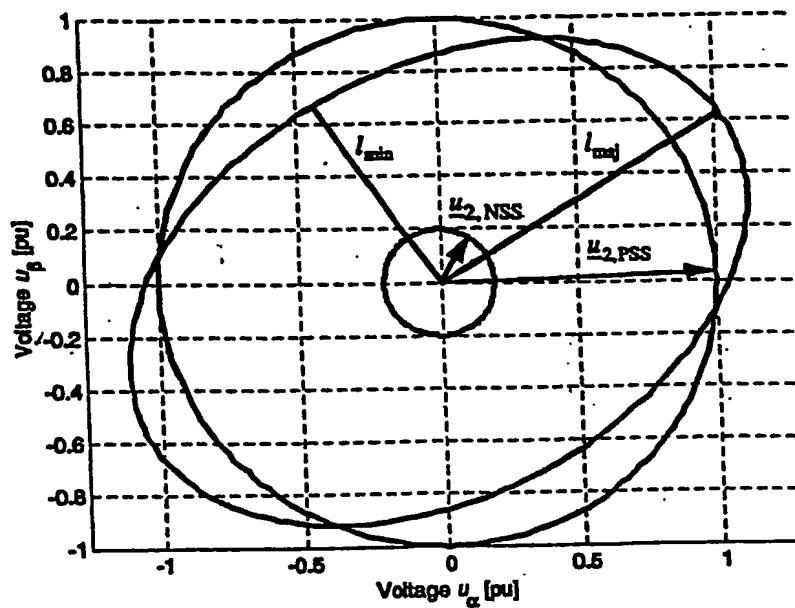


Fig 1

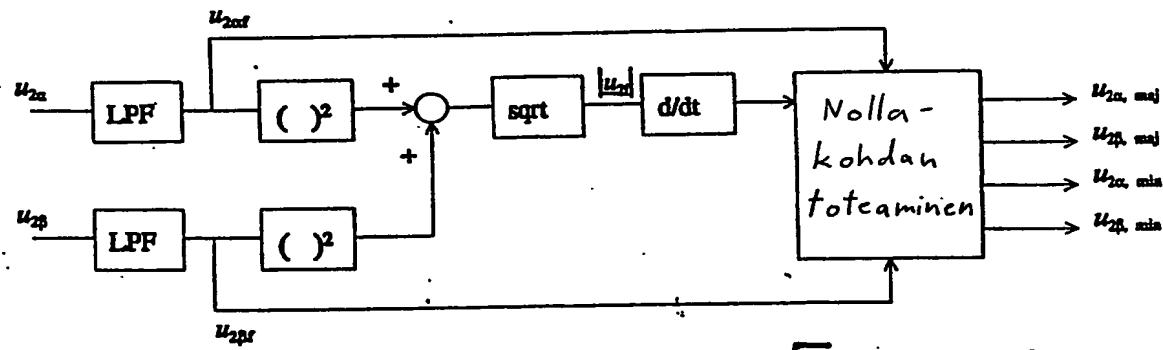


Fig 2

L5

2

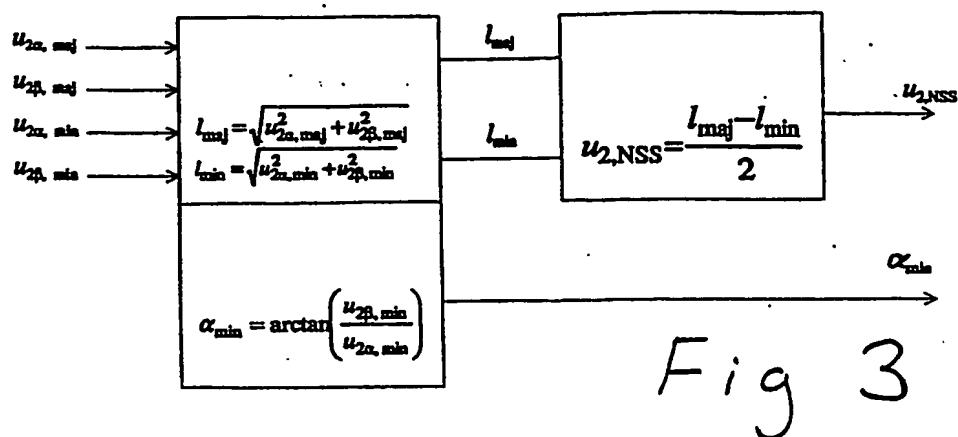


Fig 3

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**